

5. Tatarintsev V.L., Tatarintsev L.M., Budritskaya I.A. Agrolandshafty sukhostepnoy Kulundy i ikh agroekologicheskaya otsenka // Otrazhenie bio-, geo-, antroposfernykh vzaimodeystviy v pochvakh i pochvennom pokrove: sbornik materialov V Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (7-11 sentyabrya 2015 g., Rossiya) / pod red. S.P. Kulizhskogo. – Tomsk: Izdatel'skiy Dom TGU, 2015. – S. 255-259.

6. Budritskaya I.A., Tatarintsev L.M., Tatarintsev V.L. Agroekologicheskaya otsenka pochv sukhostepnoy Kulundy // Vestnik

Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 11 (133). – S. 42-50.

7. Budritskaya I.A., Tatarintsev L.M., Tatarintsev V.L. Agroekologicheskaya model' effektivnogo plodorodiya kashtanovykh pochv sukhostepnoy Kulundy // Fundamental'nye i prikladnye nauki segodnya: sbornik materialov VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (21-25 avgusta 2015 g., North Charleston, USA). – Great Space 4900 La Cross Road, North Charleston, SC, USA 29406. – 2015. P. 85-88.



УДК 631.436:631.445.4

М.А. Мазиров, С.В. Макарычев  
M.A. Mazirov, S.V. Makarychev

## ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕРОЗЕМНЫХ ПОЧВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ДЛИТЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ

### THE CHANGE OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF SIEROZEM SOILS UNDER LONG-TERM IRRIGATION

**Ключевые слова:** гранулометрический состав, плотность, водно-физические постоянные, теплоемкость, температуропроводность, теплопроводность.

Засушливый климат Средней Азии требует для повышения основной сельскохозяйственной культуры – хлопчатника использования обширных гидромелиораций на базе вод местного стока. Длительное орошение приводит к уплотнению почвенного профиля и снижению воздухоемкости. Под воздействием ирригационной эрозии происходит перераспределение илистой фракции из пахотных в иллювиальные горизонты сероземов. При этом возрастает объемная теплоемкость и снижается температуропроводность. В результате для прогревания почвенного профиля требуется больше тепла при меньшей скорости его переноса. Такие почвы становятся «холоднее», поэтому снижение отрицательных последствий заключается в использовании научно обоснованных поливных норм, которые бы обеспечивали оптимальный теплофизический режим сероземов, направленный

на сокращение сроков вегетации и повышение продуктивности растений.

**Keywords:** particle size distribution, density, hydro-physical invariables, thermal capacity, thermal diffusivity, thermal conductivity.

To increase the yield of cotton, the major crop, under the conditions of the arid climate of Central Asia, the use of extensive hydrotechnical amelioration based on local runoff is required. Long-term irrigation leads to the compaction of soil profile and reduced air holding capacity. Under the influence of irrigation erosion, there occurs redistribution of silt fraction from the topsoil to illuvial horizons of sierozems. Volumetric thermal capacity increases and thermal diffusivity decreases. As a result, soil profile warming-up requires more heat at lower heat transfer rate. Such soils become "colder", so the reduction of negative effects implies the use science-based irrigation rates that would ensure the optimal thermophysical regime of sierozem soils aimed at the reduction of growing season and increasing plant productivity.

**Мазиров Михаил Арнольдович**, д.б.н., проф., зав. каф. земледелия и опытного дела, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева. E-mail: mazirov@mail.ru.

**Макарычев Сергей Владимирович**, д.б.н., проф., зав. каф. физики, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-53. E-mail: phys\_asau@rambler.ru.

**Mazirov Mikhail Arnoldovich**, Dr. Bio. Sci., Prof., Head, Chair of Agriculture and Experimentation, Russian State Agricultural University – Timiryazev Moscow Agricultural Academy. E-mail: mazirov@mail.ru.

**Makarychev Sergey Vladimirovich**, Dr. Bio. Sci., Prof., Head, Physics Dept., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-53. E-mail: phys\_asau@rambler.ru.

### Введение

Засушливый климат Средней Азии требует для повышения продуктивности основной сельскохозяйственной культуры – хлопчатника использования обширных гидромелиораций на основе вод местного стока. При этом возникает необходимость учета региональных генетических и мелиоративных особенностей почв, обоснования норм и режимов орошения в соответствии с теплофизическим состоянием.

Длительное орошение приводит, прежде всего, к уплотнению почвенного профиля, его осолонцеванию [1, 2]. Наблюдаются ухудшение структуры и явления выщелачивания. Под воздействием ирригационной эрозии в пахотном слое уменьшается содержание ила [3].

В то же время при массовом исследовании динамики физических параметров орошаемых почв вопрос о их термических показателях остается слабоизученным [4]. Зачастую не выяснено направление изменений теплофизических коэффициентов, отсутствует прогнозирование теплового состояния почв при многолетнем поливе. В связи с этим нами сделана попытка изучения динамики теплофизических свойств орошаемых почв сероземного пояса Западного Тянь-Шаня.

### Объекты и методы

Объектами исследований явились сероземные почвы западного Тянь-Шаня (Узбекистан). **Цель** – экспериментальное изучение комплекса теплофизических коэффициентов. Общие физические и водно-физические свойства почв определялись общепринятыми в почвоведении методы [5]. Для экспериментального измерения теплофизических показателей использовался импульсный метод плоского источника тепла [6].

### Результаты исследований

Гранулометрический состав исследованных сероземов в основном тяжело- и среднесуглинистый (Р. 133, 147, 134, 53). Они орошались в течение многих лет. Это обусловило появление целого ряда изменений физико-механических характеристик. Количество органического вещества при орошении, как правило, в верхнем горизонте снижается. Так, в слое 0-30 см орошаемых сероземов (Р. 133, 147) его количество составляет только 1,27 и 1,16% соответственно, в то время как в богарном типичном сероземе – 1,52% (Р. 129), а в целинном (Р. 119) – даже 2,57%. На глубине 30-50 см в первом случае гумуса 0,71 и 0,92, а во втором – только 0,6%. Таким образом, имеет место перенос органических частиц в нижележащие слои почвы. Аналогичные результаты отмечены и в профилях орошаемых сероземно-луговых почв (Р.53, 134).

Содержание ила в пахотном горизонте, как правило, ниже, чем в подпахотном слое. Наибольшая концентрация илистой фракции в орошаемых почвах отмечается на глубине от 30 до 60 см (Р. 133, 134, 53). Здесь же наибольшее количество глинистых частиц. На богарных и целинных участках распределение гранулометрического состава обратное. Так, в разрезе 119 дерновый слой содержит 20% ила, а нижележащий на глубине 25-30 см – только 14%. Разрез 129 сверху имеет 50% глины, а на глубине 30-50 см – уже 45%.

В орошаемых сероземах значительным изменениям подвержены такие показатели, как плотность и порозность. Орошение приводит к уплотнению генетических горизонтов. При этом средняя плотность метрового слоя типичных сероземов повышается на 8-10%, орошаемых сероземно-луговых почв – на 10-12% (Р. 133, 147,

134, 53). Наиболее плотным оказывается подпахотный горизонт на глубине 30-50 см, где плотность достигает  $1,56 \text{ г/см}^3$ . Уплотнение орошаемых почв снижает как общую порозность, так и порозность аэрации практически во всех изученных профилях.

Изменчивость физико-механических и воздушных свойств почв под влиянием гидромелиорации в свою очередь отражается на гидрологических постоянных. При этом максимальная гигроскопичность и влажность завядания практически не изменяются, тогда как наименьшая влагоемкость, полная влагоемкость и другие оказываются ниже, чем на богарных участках и целине.

При орошении количество карбонатов в пахотном слое возрастает. Так, в староорошаемых типичных сероземах (Р. 133, 147) верхний (30 см) слой содержит, соответственно, 5,93 и 7,14%, в то время как на богаре (Р. 129) – 4,74%, а на целине (Р. 119) – лишь 3,44%. Кроме того, меняется концентрация  $\text{CO}_2$  и в более глубоких горизонтах. Чаще всего ее максимум приурочен к 60-80 см.

Такое перераспределение илистой фракции, органического вещества, а также уплотнение и снижение воздухоемкости нашли отражение на формировании теплофизических коэффициентов в профиле орошаемых почв. В таблице 1 представле-

ны объемная теплоемкость, тепло- и температуропроводность типичных сероземов на глубинах 0-30 и 30-50 см как староорошаемых (Р. 133, 147), так и богарных (Р. 129) и целинных (Р. 119) в абсолютно сухом состоянии.

Данные таблицы 1 показывают, что многолетнее орошение вызывает определенные, в основном отрицательные изменения теплофизических свойств почвы. Объемная теплоемкость под влиянием орошения, как правило, возрастает особенно на глубине 30-50 см, чему способствует миграция органических и илстых частиц из верхнего слоя.

Так, теплоемкость староорошаемых сероземов (Р. 133 и 147] в данном слое составляет, соответственно, 2,26 и  $2,45 \times 10^6 \text{ Дж/м}^3 \text{ К}$ , тогда как на богаре (Р. 129) и целине (Р. 119) – только 2,00 и  $2,04 \times 10^6 \text{ Дж/м}^3 \text{ К}$ .

В то же время температуропроводность мелиорируемых почв уменьшается. Если в верхнем (30 см) слое ее значения близки к богарным и целинным участкам, то ниже оказываются значительно меньше. В разрезе 133 она падает с 0,32 до  $0,26 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , то есть на 20%, а в разрезе 147 с 0,23 – до  $0,17 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , или на 25%. На богаре температуропроводность этих слоев практически одинакова, а на целине с глубиной даже возрастает.

Таблица 1

*Теплофизические коэффициенты пахотного слоя типичных сероземов*

Глубина см	Теплоемкость, $10^6 \text{ Дж/м}^3 \text{ К}$	Температуропроводность, $10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$	Теплопроводность, Вт/м К
Староорошаемый, Р.133			
0-30	1,63	0,32	0,52
30-50	2,26	0,26	0,60
Староорошаемый, Р. 147			
0-30	2,05	0,23	0,46
30-50	2,45	0,17	0,40
Богарные, Р. 129			
0-30	1,67	0,32	0,54
30-50	2,00	0,30	0,60
Целина, Р.119			
0-30	2,31	0,26	0,59
30-50	2,04	0,28	0,56

Анализируя данные таблицы 1, в которой представлены температуропроводности староорошаемых типичных сероземов (Р. 133 и 147) при различных гидрологических константах, следует отметить, что профиль этих почв в отношении скорости изменения температуры достаточно однороден как в абсолютно сухом состоянии, так и при разной степени увлажнения. Кроме того, относительные изменения коэффициента температуропроводности с ростом влагосодержания также невелики и не превышают  $0,5 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , что говорит о их слабой отзывчивости на гидромелиорацию и свидетельствует о некоторой степени деградации теплофизических параметров. Данные таблицы показывают также, что при различных гидрологических константах объемная теплоемкость генетических горизонтов сероземов в условиях орошения остается выше, чем на богаре, тогда как температуропроводность ниже. Увлажнение орошаемых почв формирует более низкие значения теплопроводности по сравнению с немелиорированными почвами, что обусловлено, прежде всего, падением абсолютных величин гидрологических постоянных.

Таким образом, многолетнее орошение приводит к ухудшению физико-механических, водно-физических, воздушных и теплофизических параметров. И чем длительнее воздействие гидромелиорации, тем значительнее его отрицательные последствия для теплофизического состояния почвенных профилей.

Снижение этих последствий мы видим в использовании поливных норм, основанных

на научном расчете, которые обеспечивали бы оптимальный теплофизический режим орошаемых почв, направленный на сокращение сроков вегетации и повышение продуктивности культивируемых сельскохозяйственных культур.

Обладая большим набором данных по теплофизическим характеристикам и основным свойствам почв в виде плотности, содержания физической глины и гумуса, мы попытались проанализировать взаимосвязи теплофизических характеристик и свойств почв при различных влажностях. В таблице 2 представлены коэффициенты корреляции теплофизических свойств с плотностью почвы, содержанием физической глины и гумуса. В отношении теплопроводности во всей области увлажнения не наблюдается доминирующего фактора. В абсолютно сухом состоянии теплопроводность в первую очередь зависит от содержания гумуса в почве ( $k = -0,625$ ). По мере увеличения влагосодержания (в области от МГ до ВЗ) наибольшее влияние начинает оказывать плотность почвы. Однако коэффициенты корреляции столь невелики, что необоснованно говорить об устойчивой взаимосвязи. По-видимому, это связано с доминирующим влиянием влажности.

При рассмотрении корреляционных связей теплоемкости и физических свойств почвы необходимо отметить, что определяющее влияние оказывает плотность почвы, которая обнаруживает высокую положительную корреляцию ( $r = 0,82-0,75$ ).

Таблица 2

*Значения коэффициентов корреляции теплофизических коэффициентов к основным почвенным свойствам при различных гидрологических константах*

Коэффициенты	абс. сухая	МГ	ВЗ	НВ
Плотность почвы				
Теплопроводность	0,440	0,575	0,491	0,322
Теплоемкость	0,814	0,781	0,749	0,746
Температуропроводность	-0,759	-0,562	-0,637	-0,435
Содержание физической глины				
Теплопроводность	-0,396	0,191	0,232	-0,057
Теплоемкость	0,039	0,097	0,128	0,083
Температуропроводность	-0,464	0,132	0,129	-0,127
Содержание гумуса				
Теплопроводность	-0,625	-0,238	-0,208	-0,075
Теплоемкость	-0,496	-0,452	-0,430	-0,427
Температуропроводность	0,215	0,717	0,704	0,387

*Уравнения регрессионных зависимостей теплофизических коэффициентов от плотности почв ( $X_1$ ), содержания физической глины ( $X_2$ ) и содержания гумуса ( $X_3$ )*

Теплофизические коэффициенты	Гидролог. константы	Уравнения
Теплопроводность	абс. сухая	$Y = 0,594 + 0,125X_1 - 0,0042X_2 - 0,044X_3$
	МГ	$Y = -1,669 + 1,697X_1 + 0,0091X_2 + 0,0167X_3$
	ВЗ	$Y = -1,422 + 1,563X_1 + 0,011X_2 + 0,012X_3$
	НВ	$Y = -0,203 + 0,852X_1 - 0,0009X_2 + 0,012X_3$
Теплоемкость	абс. сухая	$Y = -3,43 + 3,772X_1 + 0,009X_2 - 0,042X_3$
	МГ	$Y = -4,054 + 4,296X_1 + 0,014X_2 - 0,034X_3$
	ВЗ	$Y = -4,295 + 4,495X_1 + 0,018X_2 - 0,034X_3$
	НВ	$Y = -4,044 + 5,059X_1 + 0,016X_2 - 0,036X_3$
Температуропроводность	абс. сухая	$Y = 1,008 - 0,424X_1 - 0,0034X_2 - 0,0086X_3$
	МГ	$Y = 0,662 - 0,202X_1 + 0,0004X_2 + 0,0412X_3$
	ВЗ	$Y = 0,832 - 0,296X_1 + 0,0003X_2 + 0,0362X_3$
	НВ	$Y = 0,902 - 0,307X_1 - 0,0025X_2 + 0,0193X_3$

Корреляция теплоемкости и содержания гумуса оказалась отрицательной во всей области увлажнения, то есть с увеличением гумусированности теплоемкость уменьшается. Коэффициенты корреляции хотя имеют относительно небольшие значения, но являются значимыми при уровне доверительной вероятности  $P = 0,999$  [7].

Так как содержание воды в почве оказывает определяющее влияние на температуропроводность, наибольший по абсолютному значению коэффициент корреляции температуропроводности и плотности почвы, имеет место в случае абсолютно сухой почвы ( $r = -0,76$ ). С увеличением влажности до НВ уменьшается зависимость температуропроводности от плотности почвы.

Содержание физической глины также обнаруживает отрицательную корреляцию. В области влажности почвы МГ-ВЗ содержание гумуса оказывает определяющее влияние на температуропроводность, коэффициенты корреляции которых оказались довольно высокими (около 0,7). По-видимому, это область слабого влияния влажности, так как при рассмотрении кривых зависимости температуропроводности от влажности имеется участок максималь-

ной температуропроводности, где с возрастанием влажности от МГ до ВРК она мало изменяется. В этом случае определяющее влияние на температуропроводность оказывают свойства почвы, способствующие оструктурированию порового пространства, т.е. содержание органики.

Конечным результатом исследований явилось получение регрессионных зависимостей теплофизических коэффициентов от почвенно-физических параметров (табл. 3).

### Заклучение

Исследованные сероземы орошались в течение многих лет. Это обусловило изменение целого ряда их физических свойств. Так, количество органического вещества в верхнем пахотном горизонте снизилось почти в три раза. Аналогичная инверсия имела место и с илистой фракцией. При этом наибольшая концентрация ила отмечена на глубине от 30 до 60 см. На богарных и целинных сероземах распределение гранулометрического состава иное. В их дерновом слое содержание илстых частиц составляет не менее 20%, а в иллювиальном горизонте – только 14%.



В орошаемых сероземах значительным изменениям подвержены также плотность и порозность генетических горизонтов. При этом средняя плотность метрового слоя почвы увеличивается на 8-12%, а наиболее плотным оказывается подпахотный слой, в котором она достигает  $1,56 \text{ г/см}^3$ . Соответственно снижается порозность.

Эти изменения нашли отражение на распределении теплофизических характеристик в почвенном профиле. Так, объемная теплоемкость орошаемой почвы составляет  $2,45 \times 10^6 \text{ Дж/м}^3 \text{ К}$ , тогда как на богаре и целине – только  $2,04 \times 10^6 \text{ Дж/м}^3 \text{ К}$ . В то же время температуропроводность при этом снижается.

Таким образом, многолетнее орошение приводит к ухудшению не только физико-механических, водно-физических, воздушных, но и теплофизических показателей. И чем длительнее воздействие гидромелиорации, тем значительнее ее отрицательные последствия для теплофизического состояния почвенных профилей.

Снижение этих последствий возможно при использовании поливных норм, основанных на научном расчете, которые обеспечивали бы оптимальный теплофизический режим орошаемых сероземов, направленный на сокращение сроков вегетации и повышение продуктивности сельскохозяйственных культур.

#### Библиографический список

1. Мазиров М.А., Макарычев С.В. Теплофизическая характеристика почвенного покрова Алтая и западного Тянь-Шаня. – Владимир: Изд-во Влад. госуниверситета, 2002. – 448 с.
2. Татаринцев Л.М. Агрофизические свойства почв Алтайского Приобья, их изменение при антропологическом воздействии // Тез. к VIII съезду почвоведов. – Новосибирск, 1989. – С. 76.
3. Умаров К.У., Бикмухаметов М.А. Изменение водно-физических свойств черноземов южных под влиянием длительного

антропогенного использования // Тез. к VIII съезду почвоведов. – Новосибирск, 1989. – С. 81.

4. Мазиров М.А., Макарычев С.В. Теплофизика почв: антропогенный фактор. – Суздаль, 1997. – Т. 2. – 203 с.

5. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.Ф. Методы исследования физических свойств почв. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.

6. Болотов А.Г. Теплофизическое состояние почв и совершенствование инструментальной базы для его исследования: автореф. канд. дис. – Барнаул, 2003. – 22 с.

7. Дмитриев Е.К. Теплоемкость почвы: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук – М., 1958. – 11 с.

#### References

1. Mazirov M.A., Makarychev S.V. Teplofizicheskaya kharakteristika pochvennogo pokrova Altaya i zapadnogo Tyan'-Shanya. – Vladimir: Izd-vo Vl. gosuniversiteta, 2002. – 448 s.

2. Tatarintsev L.M. Agrofizicheskie svoystva pochv Altayskogo Priob'ya, ikh izmenenie pri antropologicheskom vozdeystvii // Tез. k VIII s"ezdu pochvovedov. – Novosibirsk, 1989. – S. 76.

3. Umarov K.U., Bikmukhametov M.A. Izmenenie vodno-fizicheskikh svoystv chernozemov yuzhnykh pod vliyaniem dlitel'nogo antropogenного ispol'zovaniya // Tез. k VIII s"ezdu pochvovedov. – Novosibirsk, 1989. – S. 81.

4. Mazirov M.A., Makarychev S.V. Teplofizika pochv: antropogenный faktor. Tom 2. – Suzdal': Izd-vo Vl. NIISKh, 1997. – 203 s.

5. Vadyunina A.F., Korchagina Z.F. Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv. – M.: Agropromizdat, 1986. – 416 s.

6. Bolotov A.G. Teplofizicheskoe sostoyanie pochv i sovershenstvovanie instrumental'noy bazy dlya ego issledovaniya: avtoref. diss. ... kand. s.-kh. nauk. – Barnaul, 2003. – 22 s.

7. Dmitriev E.K. Teploemkost' pochvy: avtoref. kand. diss.. – M., 1958. – 11 s.

